

Aplicación de la especificación Data Distribution Service (DDS) al control de glucosa en pacientes diabéticos

A. Talaminos Barroso¹, J. Calvillo Arbizu¹, I. Román Martínez^{1,3}, L.M. Roa Romero^{2,1}, M.E. Hernando Pérez^{2,4}, G. García Sáez^{2,4}, A. de Leiva^{2,5}

¹ Grupo de Ingeniería Biomédica, Universidad de Sevilla, Sevilla

² Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN)

³ Área de Telemática, Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Sevilla

⁴ Grupo de Bioingeniería y Telemedicina, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

⁵ Servicio de Endocrinología y Nutrición, Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, Barcelona

Resumen

En este trabajo se ha investigado la posibilidad de utilizar el estándar DDS (Data Distribution Service) desarrollado por el OMG (Object Management Group) para la monitorización en tiempo real del nivel de glucosa en pacientes diabéticos. Dicho estándar sigue el patrón publicador/suscriptor de modo que, en la prueba de concepto desarrollada, los sensores del punto de cuidado son publicadores de los valores de glucosa de los pacientes y diferentes supervisores se suscriben a esa información. Estos supervisores reaccionan de la forma más adecuada a los valores y la evolución del nivel de glucosa en el paciente, por ejemplo, registrando el valor de la muestra o generando una alarma. El software de intermediación que soporta la comunicación de datos sigue el estándar DDS. Esto facilita por un lado la escalabilidad e interoperatividad de la solución desarrollada y por otro la monitorización de niveles de glucosa y la activación de protocolos predefinidos en tiempo real. La investigación se enmarca dentro del proyecto intramural PERSONA del CIBER-BBN, cuyo objetivo es el diseño de herramientas de soporte a la decisión para la monitorización continua de pacientes personalizadas e integradas en una plataforma tecnológica para diabetes.

1. Introducción

La diabetes mellitus (DM) es un conjunto de trastornos metabólicos que afecta a diferentes órganos y tejidos, dura toda la vida y se caracteriza por un aumento de los niveles de glucosa en la sangre, lo que se conoce como hiperglucemia. Un nivel de glucosa en sangre superior al umbral normal durante largos periodos de tiempo puede acarrear complicaciones y ocasionar otras enfermedades. Por tanto, la monitorización continua del nivel de glucosa en sangre es una necesidad para los pacientes diabéticos.

Disponer de los datos de monitorización continua proporciona información sobre el estado metabólico del paciente durante las 24 horas del día. En cambio supone una mayor complejidad en los procesos de cuidado de la diabetes ya que existe una gran cantidad de información que es necesario procesar para determinar el estado metabólico del paciente. Además, ante la presencia de situaciones metabólicas anómalas es necesario enviar notificaciones que adviertan de estas tendencias perjudiciales o incluso disparar alarmas en casos críticos donde sea necesaria una intervención inmediata para preservar la integridad del paciente. Existe por tanto una

necesidad tecnológica de conectar sistemas distribuidos geográficamente (como los que constituyen el domicilio del paciente y su centro sanitario de control) y dotarlos de una infraestructura de comunicaciones en tiempo real.

En las últimas décadas numerosos esquemas arquitecturales y tecnologías han intentado facilitar la distribución de componentes y ocultar la complejidad inherente en cuanto a comunicaciones e interoperatividad de los sistemas distribuidos. Uno de los estilos arquitecturales que con mayor eficiencia potencia la autonomía de los componentes dentro de un sistema distribuido es el patrón publicador-suscriptor, puesto que permite un desacoplo total entre los elementos que envían información (publicadores) y los que la reciben (suscriptores). Se evita de esta forma que los publicadores necesiten conocer la localización de los suscriptores (y viceversa), lo que garantiza una enorme flexibilidad al sistema, pudiendo añadir y eliminar componentes en tiempo de ejecución sin modificar el comportamiento del resto.

En el presente trabajo se plantea la aplicación de la especificación DDS (que sigue el patrón publicador-suscriptor) para la gestión de notificaciones en tiempo real sobre las medidas de control metabólico tomadas de forma continua en pacientes diabéticos. Este trabajo se enmarca dentro del proyecto intramural PERSONA [1] del CIBER-BBN en el que colaboran el Grupo de Ingeniería Biomédica de la Universidad de Sevilla, el Grupo de Bioingeniería y Telemedicina de la Universidad Politécnica de Madrid y el Hospital de la Santa Creu i Sant Pau de Barcelona. El objetivo del proyecto PERSONA es el diseño de herramientas de soporte a la decisión para la monitorización continua de pacientes personalizadas e integradas en una plataforma tecnológica para diabetes.

2. Materiales y métodos

2.1. El patrón publicador/suscriptor y DDS

En el patrón publicador/suscriptor los diferentes nodos de comunicación pueden ejercer el papel de publicador, el de suscriptor o ambos al mismo tiempo. La información es generada o consumida en un canal, evento o topic (la nomenclatura depende de la tecnología utilizada) que

sirve como nexo de unión entre publicadores y suscriptores. Este modelo de comunicación ofrece una potente abstracción para comunicación en grupo. Los publicadores pueden difundir una determinada información a un grupo de suscriptores que están a la escucha sin saber quiénes son exactamente dichos suscriptores ni si han cambiado con el tiempo.

El Servicio de Distribución de Datos (Data Distribution Service, DDS) [2] es una especificación adoptada por el OMG para el intercambio de datos en tiempo real en sistemas distribuidos que fue creada en respuesta a las necesidades de la industria de estandarizar este tipo de sistemas. La comunicación en DDS sigue el patrón publicador-suscriptor, es decir, conecta por un lado a los productores de datos o publicadores y por otro a los consumidores de datos o suscriptores, desacoplándolos en tiempo y espacio. De esta manera, cada elemento no necesita conocer el origen de la información, ni cuándo ha sido producida, ni cómo va a llegar hasta él. Por el contrario, el suscriptor únicamente tiene que precisar el tipo de información que quiere y las condiciones de comunicación que vienen dadas por las políticas de calidad de servicio (QoS). En DDS el nexo de unión entre los participantes de un dominio (publicadores y suscriptores) es el *topic*, que lleva asociado un nombre y un tipo especificado en el Lenguaje de Definición de Interfaz (Interface Definition Language, IDL) [3]. Varios topics pueden agruparse formando un *multitopic* permitiendo una publicación/suscripción más avanzada. En la Figura 1 se muestra un escenario de ejemplo.

DDS proporciona una gran variedad de políticas de QoS que posibilita que la comunicación entre elementos participantes sea altamente parametrizable, permitiendo alcanzar los requisitos demandados por la aplicación. De este modo DDS soporta un amplio espectro de requisitos temporales para sistemas en tiempo real.

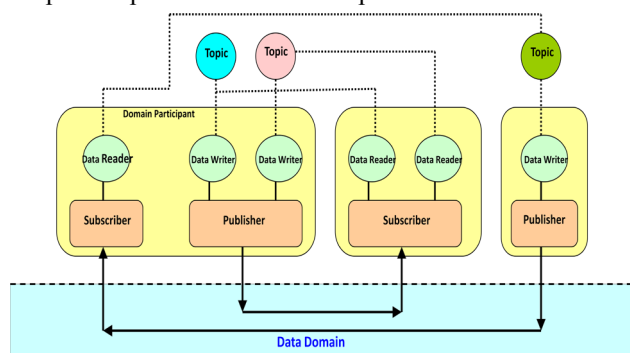


Figura 1. Muestra de elementos definidos en la especificación DDS

Hasta la fecha, el patrón publicador/suscriptor ha sido poco explotado en el ámbito clínico aunque posee un enorme potencial para servir de infraestructura de comunicaciones para la generación de conocimiento clínico al permitir la transmisión de datos e información en tiempo real desde diferentes dispositivos sensores, máquinas de terapia, modelos matemáticos, etc.; hasta los elementos que procesan de forma eficiente dicha información para generar conocimiento útil sobre el paciente.

3. Resultados

3.1. Selección de parámetros de medida del control glucémico

El Grupo de Bioingeniería y Telemedicina de la Universidad Politécnica de Madrid cuenta con amplia experiencia en sistemas de telemedicina y dispositivos de monitorización continua de glucosa [4-6]. Este grupo fue el encargado, en un primer paso del proyecto PERSONA, de seleccionar los parámetros de medida del control glucémico a partir de datos proporcionados por el Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. Los resultados obtenidos fueron publicados en [7].

3.2. Aplicación de DDS a la gestión de notificaciones sobre el control glucémico

La plataforma PERSONA debe facilitar la comunicación de las medidas de glucosa así como automatizar, en la medida de lo posible, la detección y gestión de las notificaciones que alerten sobre situaciones anómalas en el estado del paciente.

Mediante el uso de DDS se consigue un desacoplo de los componentes que generan la información de los que la consumen, sin la necesidad de utilizar intermediarios y optimizando el tiempo de respuesta. Esto permite tener un sistema escalable, en el que se incluyen elementos de cualquier tipo sin necesidad de detener el sistema ni realizar reconfiguraciones pesadas, y se proporciona una solución de distribución de datos en tiempo real. Además la identificación de situaciones o tendencias anómalas en el estado de un paciente se limita a la configuración adecuada de topics y suscripciones a los mismos por parte de los componentes interesados en informar o gestionar dichas situaciones.

La tecnología basada en DDS comienza a estar suficientemente madura, aunque es poco utilizada aún en el ámbito sanitario, existiendo diversas plataformas que siguen este estándar (tanto de carácter libre como propietario) [8][9]. Por supuesto, al tratarse de un estándar la interoperatividad con otros sistemas de este tipo o el cambio de plataforma será más sencillo.

Con el objetivo de comprobar la validez de DDS para la comunicación de los datos obtenidos durante el control glucémico, y en especial para optimizar la gestión de las notificaciones derivadas de este control, se ha realizado una prueba de concepto en la que se tratan tres tipos de notificaciones de alarma:

- 1) Se registra un valor de glucemia superior a 400 mg/dL.
- 2) No se envían datos de glucemia en un periodo superior a siete días.
- 3) Se registran dos valores de glucemia mayores que 300 mg/dL consecutivos en el tiempo.

En este sistema de prueba tenemos los siguientes elementos básicos:

- a. los agentes del punto de cuidado, que recogerán las

medidas de glucosa y las publicarán,

- b. los agentes del centro sanitario (suscritos a las alarmas o casos críticos) que ejecutarán el protocolo más adecuado para cada evento, y
- c. los agentes supervisores, que estarán suscritos a la información publicada en la plataforma para identificar situaciones y tendencias anómalas y publicar a su vez las alarmas convenientes.

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de esta prueba de concepto.



Figura 2. Ejemplo de escenario de DSS aplicado al control de pacientes diabéticos

Las alarmas serán activadas en base al procesamiento de la información publicada en la plataforma. Para cada tipo de mensaje que se publica existirá un topic asociado. Así tendremos un topic para las medidas de glucosa que publican los agentes del punto de cuidado (*TopicGlucose*) y un topic para cada notificación de estados anómalos (los *TopicAlarm*). Los agentes del punto de cuidado serán exclusivamente publicadores de mensajes en el topic *TopicGlucose* identificando al paciente y su nivel de glucemia en un instante dado. Una de las ventajas de DDS es que la propia infraestructura permite establecer fácilmente condiciones de filtrado sobre dichos mensajes y, de cumplirse estas condiciones, publicar en otros topics. Por otro lado, los agentes del centro sanitario serán suscriptores de los topics de alarma lo que les permitirá estar al corriente de las alarmas que se den en el sistema pero siempre con la posibilidad de quedarse con una parte de todas las que se produzcan (por ejemplo, sólo las que estén relacionadas con un conjunto de individuos concretos) a través del filtrado de mensajes en la suscripción. El supervisor estará suscrito al topic *TopicGlucose* filtrado y realizará un procesamiento sobre los mensajes para detectar eventos anómalos. El proceso particular para cada tipo de alarma es el siguiente:

- 1) En el escenario de valores de glucemia mayores que

400 mg/dL se ha creado una condición de filtrado sobre los mensajes de *TopicGlucose*. Así, si el valor del campo glucemia es mayor de 400, se creará un mensaje en el topic *TopicAlarm1* con la identificación del paciente, el valor de glucemia y el instante de tiempo en que se ha producido dicha medida.

- 2) El segundo escenario sigue un razonamiento análogo al anterior pero ahora la condición de filtrado es el tiempo límite de recepción, fijado en 7 días (*timeline* = 604800000 ms). Cuando se supere este tiempo sin recibir ningún mensaje del topic *TopicGlucose*, la infraestructura publicará un mensaje en el topic *TopicAlarm2* con la identificación del paciente.
- 3) En el último escenario se debe introducir un tercer participante, el supervisor, para comprobar si las muestras publicadas son consecutivas. Los mensajes de *TopicGlucose* se publican y filtran como en el primer caso. Para valores de glucosa mayores de 300 mg/dL el supervisor recibe un mensaje a través del topic *FilteredTopic*. En el momento que reciba dos mensajes comprobará si son consecutivos consultando los instantes de tiempo en que fueron publicados. En caso de que sean consecutivos (y pertenezcan al mismo paciente), el supervisor publicará en el topic *TopicAlarm3* un mensaje con la identificación del paciente, los valores de glucosa y los instantes de tiempo en que se tomaron dichas muestras.

En la Figura 2 se presenta sólo un punto de cuidado pero la escalabilidad de DDS permite que se pueda desplegar un alto número de publicadores y suscriptores. Al igual que se ha mostrado en los casos anteriores, a través del filtrado de contenido se posibilita que los suscriptores reciban sólo aquellos mensajes que les interesan. Así un agente de centro sanitario puede recibir, por ejemplo, las alarmas que tengan que ver con los pacientes adscritos a su centro y no las de todos los pacientes del sistema sanitario aunque compartan la misma infraestructura de comunicaciones.

Los componentes de tipo Supervisor pueden ser de muy diversa índole. Como se ha comentado éstos procesan información publicada (aquella a la que estén suscritos) y pueden, por ejemplo, realimentar al sistema con los resultados obtenidos (publicándolos en otros topics) o almacenarlos de forma persistente. Así estos supervisores pueden ser componentes de sistemas de apoyo a la decisión clínica, modelos computacionales [10], interceptores entre dominios con diferentes modelos de información que traduzcan los mensajes, sistemas de generación de alarmas, elementos de supervisión del sistema, etc.

Por último cabe destacar que el sistema desarrollado para este trabajo pone de manifiesto la potencialidad de DDS como infraestructura de comunicación en tiempo real para sistemas distribuidos fuertemente desacoplados. A esto se le añaden otros beneficios de este tipo de software de intermediación orientado a mensajes como: el descubrimiento automático de la información sin

necesidad de conocer dónde se localiza la fuente (o fuentes) de la misma, el filtrado de información mediante las suscripciones basadas en contenido (que permiten suscribirse a un topic y recibir sólo aquellos mensajes que cumplan unas condiciones predefinidas y no todos los que se publiquen), la independencia que otorga el estándar DDS de la plataforma o el lenguaje de programación utilizados por encima en cada aplicación participante, el soporte de tiempo real, la riqueza de las políticas de QoS o la mayor predictibilidad (a través de las condiciones de suscripción) en la entrega de la información.

En el proyecto PERSONA se desarrollarán escenarios más complejos que incluirán no sólo los parámetros seleccionados en el proyecto para la medida del control glucémico (una muestra de los cuales se presenta en este trabajo) sino cualquier otro tipo de información de interés en la atención personalizada del paciente diabético. De este modo el trabajo aquí presentado es el primer paso en el desarrollo de esta plataforma. En el proyecto se partirá de una plataforma de telemedicina previamente desarrollada por el Grupo de Bioingeniería y Telemedicina de la Universidad Politécnica de Madrid llamada DiabTel [6] a la que se le añadirá la middleware que implementa DDS de forma mínimamente invasiva con respecto a los sistemas ya desarrollados y desplegados. En este sentido se explotará otra de las bondades de DDS en cuanto a su independencia de tecnologías y lenguajes de programación.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha investigado y desarrollado un sistema de gestión de niveles de glucosa y alarmas relacionadas con el control glucémico basado en el modelo publicador-suscriptor y desarrollado conforme a la especificación DDS. Esta plataforma puede suponer un importante avance en el desarrollo de aplicaciones de soporte al control glucémico y la atención personalizada a pacientes diabéticos en tiempo real.

Para comprobar la validez de DDS para la gestión de notificaciones relacionadas con el control glucémico se ha realizado una prueba de concepto con tres escenarios críticos. Estos escenarios sirven de primera aproximación a la aplicación de DDS en el proyecto PERSONA. Entre los beneficios destacables de esta tecnología para el dominio sanitario están el fuerte desacople de los participantes y la escalabilidad (lo que permite tener un alto número de publicadores y suscriptores independientes que operan sin necesidad de conocer sus localizaciones), las políticas de publicación y suscripción (que facilitan el filtrado de los mensajes publicados según las preferencias de cada suscriptor y permiten considerar políticas de QoS en la entrega de mensajes con un alto nivel de sofisticación) y el dinamismo en la entrada y salida de participantes en la infraestructura de comunicaciones sin necesidad de interrumpir o informar al resto de elementos.

La programación de las interfaces de publicación de datos y de suscripción y filtración de estos datos en los componentes de la arquitectura se ve muy simplificada gracias al uso de un estándar y se facilita la migración y la

interoperatividad de la arquitectura propuesta.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto APRIRED (No. Expte. PI082023, Instituto de Salud Carlos III, Fondo de Investigación Sanitaria) y por el Centro de Investigación Biomédica en Red de Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN) bajo el proyecto intramural PERSONA, y en parte por la Dirección General de Investigación, Tecnología y Empresa, Junta de Andalucía, bajo Grants TIC-6214 y EXC/2005/TIC-314. CIBER-BBN es una iniciativa fundada por el VI Nacional R&D+i Plan 2008-2011, Iniciativa Ingenio 2010, programa Consolider, Acciones CIBER y financiada por el Instituto de Salud Carlos III con ayuda del Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

Referencias

- [1] Personalized Decision Support for Enhanced Control in Pervasive Healthcare Platforms (PERSONA). Proyecto intramural CIBER-BBN. 2011-2013.
- [2] OMG. Data Distribution Service for Real-time Systems, Version 1.2, 2007.
- [3] OMG. Interface Definition Language, Common Object Request Broker Architecture (CORBA) Specification, Version 3.2, 2011.
- [4] Rigla, M, Hernando, E. J. Gómez, E. Brugués et al. Real-Time Continuous Glucose Monitoring Together with Telemedical Assistance Improves Glycemic Control and Glucose Stability in Pump-Treated Patients. *Diabetes Technology & Therapeutics*, vol. 10, 3, 2008, pp 194-99.
- [5] Pérez-Gandía, C., Faccinetti, A., Sparacino, G., Cobelli, C., Rigla, M., Leiva, A., Gómez, E. J., Hernando, M. E. Artificial Neural Network Algorithm for On-Line Glucose Prediction from Continuous Glucose Monitoring, *Diabetes Technology & Therapeutics*, vol. 12, no. 1, pp. 81-88, 2010.
- [6] Gómez, E. J., Hernando, M. E., Vering, T., Rigla Cros, M., Bott, O., García-Sáez, G., De Leiva, A., et al. The INCA System: A Further Step Towards a Telemedical Artificial Pancreas, *Information Technology in Biomedicine*, IEEE Transactions on, vol. 12, no. 4, pp. 470-479, 2008.
- [7] García-Sáez, G., Rigla, M., Capel, I., de Leiva, A., Gómez, E.J., Hernando, M.E. Selección y validación de parámetros de control glucémico para generar alarmas automáticas con un sistema de telemedicina. Libro de Actas del XXIX Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica, Cáceres, pp. 535-538, 2011.
- [8] Real-Time Innovators (RTI). Connex DDS. Disponible en: <http://www.rti.com/products/dds/>.
- [9] OpenDDS Group. OpenDDS. Disponibl en: <http://www.opendds.org/>.
- [10] Talaminos, A., Oliva, S., Román, I., Roa, L.M. Modelo formal para la distribución de datos entre modelos computacionales biológicos multiescala. Libro de Actas del XXIX Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica, Madrid, pp. 535-538, 2010.